

Title: OPTICAL MODULE WITH BUILT-IN WAVELENGTH LOCKER

Group Art Unit: TBD

Examiner: TBD

CLAIM FOR PRIORITY

A certified copy of corresponding Japanese Application No. 2003-314699, filed September 5, 2003 is attached. It is requested that the right of priority provided by 35 U.S.C. 119 be extended by the U.S. Patent and Trademark Office.

Michael A. Schwartz

Michael A. Schwartz, Reg. No. 40,161
Swidler Berlin Shereff Friedman, LLP
3000 K Street, NW, Suite 300
Washington, DC 20007-5116
Telephone: (202) 424-7500
Facsimile: (202) 295-8478

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 9 月 5 日
Date of Application:

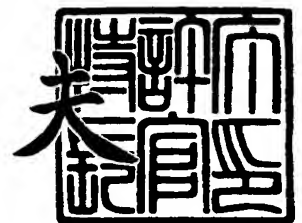
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 1 4 6 9 9
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 3 1 4 6 9 9]

出 願 人 富 士 通 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月 2 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 1 0 6 2 7 9

【書類名】 特許願
【整理番号】 0350991
【提出日】 平成15年 9月 5日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01S 3/13
H01S 5/0687
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
内
【氏名】 小宮山 学
【特許出願人】
【識別番号】 000005223
【氏名又は名称】 富士通株式会社
【代理人】
【識別番号】 100108187
【弁理士】
【氏名又は名称】 横山 淳一
【電話番号】 044-754-3035
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 011280
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0017694

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

光源からの出力光を分岐する分岐素子と、
前記分岐素子により分岐された光の強度を検出する第 1 のモニタ手段と、
制御信号により前記分岐素子の出力光の偏波状態を切り替える偏波制御手段と、
前記偏波制御手段の出力光を入力し入力光の偏波状態により特性が替わるフィルタ手段と、
前記フィルタ手段を透過した光の強度を検出する第 2 のモニタ手段とを備え、
前記第 1 または第 2 のモニタ手段の検出結果により前記光源の波長変動を検出することを特徴とする光モジュール。

【請求項 2】

請求項 1 記載の光モジュールであって、前記第 1 および第 2 のモニタ手段の検出結果により得られる前記光源の波長に対応する出力を前記偏波制御手段を切り替えて比較し、前記偏波制御手段の出力光が前記光源の波長変動を検出するのに適した偏波状態となるように前記偏波制御手段を切り替えることを特徴とする光モジュール。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 記載の光モジュールであって、前記フィルタ手段はエタロンフィルタであり、前記フィルタ手段への入力光の入射角が前記入力光の偏波状態により異なるように、前記フィルタが設置されていることを特徴とする光モジュール。

【請求項 4】

請求項 1 または請求項 2 記載の光モジュールであって、前記フィルタ手段は複屈折結晶により構成されたエタロンフィルタであり、前記フィルタ手段への入力光に対する屈折率が前記入力光の偏波状態により異なるように、前記エタロンフィルタを構成する前記複屈折結晶の光学軸方向が設定されていることを特徴とする光モジュール。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波長ロック内蔵光モジュール

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長ロックを備えた光モジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

光伝送システムにおいては、複数の異なる波長の光を多重化することにより伝送容量を増加させる波長分割多重 (WDM; Wavelength Division Multiplexing) 通信が用いられている。WDM通信では、多重化信号光の信号光波長間隔を狭くすることにより、使用する信号光波長帯域あたりの伝送容量を増加させることができる。現在、WDM通信においては、200GHz、100GHz、50GHzの信号光波長間隔が実用化されており、伝送容量を増加させるために、25GHz、12.5GHzの信号光波長間隔が求められている。

【0003】

WDM通信では、所定の信号光波長間隔で複数の信号光を伝送しているため、隣接波長の信号光と十分なアイソレーションを持つ必要があり、信号光波長間隔が狭くなるに伴い、信号光光源の出力波長を高精度に制御する必要がある。WDM通信システムでは、光源のレーザダイオード (LD; Laser Diode) の経時的変動あるいは周囲温度の変動による波長変動を抑制し、出力光を特定波長に高精度にロックさせる波長ロックが用いられている (例えば特許文献1)。

【0004】

WDM通信システムの多波長化に伴い、在庫管理及びシステム運用の利便性の観点から、光源素子であるLDモジュールには、一台で複数のWDM信号光波長を出力可能なチューナブルLDが用いられてきている。チューナブルLDを用いたLDモジュールの波長ロックでは、複数のWDM信号光波長に対して十分な波長検出力を得られる、波長に対して周期性を持つエタロンフィルタが一般に用いられる。

【0005】

図8は、従来の技術による、波長ロック機能を有するLDモジュールである。図8 (a) に上面図、図8 (b) に側面図が示されるLDモジュール3Cは、LD素子10、LDキャリア11、前方第1レンズ12A、後方レンズ12B、ビームスプリッタ (BS; Beam Splitter) 30A、フォトダイオード (PD; PhotoDiode) 20Aおよび20B、PDキャリア21Aおよび21B、エタロンフィルタ31C、マウントキャリア40、電気-熱変換素子 (TEC; Thermoelectric Cooler) 41、光アイソレータ50、及び前方第2レンズ19を備え、光ファイバ60に接続されている。

【0006】

図9は、LD出力光をエタロンフィルタに入力し、透過光をPDでモニタしたときの電流値を、LD出力光波長の変化に対してプロットしたものであり、エタロンフィルタの透過特性が示されている。エタロンフィルタは、入射した光が、媒体中に設けられた間隔Lの平行平板又は平行膜により、多重干渉することを用いたフィルタである。

【0007】

図9に示されるように、エタロンフィルタのフィルタ特性は周期的であり、その変化周期 (FSR; Free Spectral Range) は、媒体の屈折率n、平行平板又は平行膜の間隔L、定数cを用いて、

$$FSR = c / 2 * n * L \dots (1)$$

と表される。すなわち、エタロンフィルタの透過特性の周期性により、入力光強度が同じであれば、FSRの整数倍波長が離れた光によるモニタ電流値は等しくなり、例えば図9では、それぞれFSRだけ波長が離れた λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 は、入力波長が異なることをモニタ電流により区別することはできない。

【0008】

エタロンフィルタのフィルタ特性およびピーク波長は、入射光の入射角度によりシフト

する。図10に、入射角度の変化によるエタロンフィルタのピーク波長シフト量を示す。エタロンフィルタへの入力光信号の入射角度を増加させると、ピーク波長は短波長側にシフトし、図9に示されるフィルタ特性全体も短波長側にシフトする。

【0009】

図8において、LDキャリア11に設置されたLD素子10は、前方（図面右側）および後方（図面左側）に光を出力する。LD素子10の前方出力光は、前方第1レンズ12Aにより平行光となり、光アイソレータ50を透過し、前方第2レンズ19により集光され、光ファイバ60に出力される。光アイソレータ50は、前方第1レンズ12Aより出力された光を透過し、第2レンズ19による反射光を遮断することにより、反射光によるLD素子10の出力強度変動や出力波長変動を防止する。

【0010】

一方、後方出力光は、後方レンズ12Bによりコリメートされ、BS30Aに入力する。BS30Aで分岐された後方出力光は、PDキャリア21AにマウントされたPD20Aに入力し、出力光強度がモニタされる。BS30Aを透過した後方出力光は、エタロンフィルタ31Aを透過し、PDキャリア21BにマウントされたPD20Bに入力する。

【0011】

電気-熱変換素子（TEC; Thermoelectric Cooler）41は、LD素子の温度をモニタする素子、例えばサーミスタ抵抗等によるモニタ結果に基づき、LD素子10の温度が一定となるように調整を行う素子である。

【0012】

PD20Bのモニタ量は、LD素子10の出力光強度と、エタロンフィルタ31Aの透過特性が反映された量であるが、PD20Bのモニタ量をPD20Aのモニタ量で割った除算量を求めることで、LD素子10の出力変動を相殺し、LD素子10の出力光波長に応じたエタロンフィルタ31Aの出力強度が得られる。すなわち、LD素子10の出力光強度にかかわらず、PD20Bのモニタ量をPD20Aのモニタ量で割った除算量は、LD出力光波長変化に対して、図9に示される特性を持つから、除算量変化により、LD素子10の出力光波長変化を検出することができる。

【0013】

図9に示されるように、エタロンフィルタ透過特性のピーク近傍およびボトム近傍では、入力波長が変動しても、エタロンフィルタ出力は大きく変動しないため、前記除算量によりLD素子の微小な波長変化を検出することができない。波長ロック機能を有するLDモジュールでは、通常、LD素子の出力波長を精度良くロックするために、波長変動に対してエタロンフィルタの透過率が大きく変動する、特性の傾斜部分が用いられる。

【0014】

LD素子の微小な出力波長変動をモニタするために、図10に示したように入射角の調整によりエタロンフィルタの波長特性をシフトさせ、LD素子の目的出力波長がエタロンフィルタの特性の傾斜部分とすることが行われている。

【0015】

WDM通信システムに用いられる光源LDの出力光波長は、WDM通信システムの信号光波長間隔ごとに配置されるので、LD波長ロックに用いられるエタロンのFSRは、フィルタの左右どちらか一方の傾斜を使用する場合は信号光波長間隔に、フィルタの左右の傾斜を使用する場合は信号光波長間隔の倍の値が用いられる。

【0016】

上述のように、波長ロック機能を有するLDモジュールでは、エタロンフィルタの透過特性によるモニタ電流変化によりLD素子の出力波長変化を検出し、LD素子10の出力波長を制御し、目的波長に固定する。

【0017】

図8の波長ロックに用いられるエタロンフィルタの透過特性は周期的であるため、エタロンフィルタのFSRだけ波長が離れた光は、エタロンフィルタの透過出力により区別することができない。すなわち、特定の除算量により波長ロックを行う場合、波長ロック可能

な光波長が複数存在する。

【0018】

このため、LD起動時に目的波長の光出力を行うためには、波長ロックは、初期立上げ時にロック波長近傍で一度立上げ（粗調整）後、波長ロック部の出力、すなわちPD20AおよびPD20Bのモニタ量による波長ロック（微調整）を行うことが必要である。一般に、図8に示されるようなエタロンフィルタを1つ用いた波長ロックの粗調整範囲は、エタロンフィルタのFSR以下となる。

【0019】

波長ロックの粗調整範囲を広くするために、複数のエタロンフィルタを用いた波長ロックが知られている（例えば特許文献2）。図11は複数のエタロンフィルタを用いた従来例による波長ロックを示す図であり、BS30AによりLD素子10の出力光強度をモニタ用の光を分岐後、更にBS30Bにより、粗調整用のエタロンフィルタ31Bの透過光モニタ用の光を分岐し、微調整用のエタロンフィルタ31Aの透過光をモニタする構成である。

【0020】

図11に示される波長ロックでは、例えば粗調整用のエタロンフィルタのFSRを信号光波長間隔の数倍以上に大きくとることにより、初期立ち上げ時に粗調整過程を経ることなく、広い範囲でLD素子10の出力光波長を微調整することができる。

【特許文献1】特開2001-291928号公報

【特許文献2】特開2003-185502号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

エタロンフィルタを1つ用いた波長ロックでは、LDの出力波長を精度良くロックするために、波長変動に対してエタロンフィルタの透過率が大きく変動する、特性の傾斜部分が用いる必要がある。エタロンフィルタのフィルタ特性は、エタロンフィルタの傾き角調整によりシフト可能であるが、組立て時には通過出力をモニタしながら行うパッシブアライメントが必須であり、組立て工数が増加する。

【0022】

また、図11に示されるように、粗調整用と微調整用にエタロンフィルタを複数用いることで、初期立ち上げ時に粗調整過程を経ることなく、広い範囲でLDの出力光波長を微調整できるが、追加のエタロンフィルタ、BS、およびPDが必要であり、素子を設置するための面積も必要となるので、波長ロックを備えたLDモジュール全体の容量が増加する。また、追加のBSを用いると光の分岐部分が増加するので、組立て工数が増加する。

【課題を解決するための手段】

【0023】

本発明は上記課題を解決するものであって、第1の発明は、光源からの出力光を分岐する分岐素子と、

前記分岐素子により分岐された光の強度を検出する第1のモニタ手段と、制御信号により前記分岐素子の出力光の偏波状態を切り替える偏波制御手段と、前記偏波制御手段の出力光を入力し入力光の偏波状態により特性が替わるフィルタ手段と、前記フィルタ手段を透過した光の強度を検出する第2のモニタ手段とを備えたことを特徴とする。

【0024】

第2の発明による光モジュールは、第1の発明による光モジュールであって、前記第1および第2のモニタ手段の検出結果により得られる前記光源の波長に対応する出力を前記偏波制御手段を切り替えて比較し、前記偏波制御手段の出力光が前記光源の波長変動を検出するのに適した偏波状態となるように前記偏波制御手段を切り替えることを特徴とする。

【0025】

第3の発明による光モジュールは、第1または第2の発明による光モジュールであって、前記フィルタ手段はエタロンフィルタであり、前記フィルタ手段への入力光の入射角が

前記入力光の偏波状態により異なるように、前記フィルタが設置されていることを特徴とする。

【0026】

第4の発明による光モジュールは、第1または第2の発明による光モジュールであって、前記フィルタ手段は複屈折結晶により構成されたエタロンフィルタであり、前記フィルタ手段への入力光に対する屈折率が前記入力光の偏波状態により異なるように、前記エタロンフィルタを構成する前記複屈折結晶の光学軸方向が設定されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0027】

本発明による光モジュールは、光源の出力光を偏波制御手段に入力し、偏波制御手段の出力光を偏波状態により透過特性が異なるフィルタ手段に入力する構成において、偏波制御手段の出力光の偏波状態を切り替えることにより、広い波長範囲にわたって微小な波長変化を検出することができる。

【0028】

例えば、光源の出力波長をあるWDM信号光の波長から別のWDM信号光の波長へと変化させた場合や、電源投入後の初期立ち上げの場合に、光源の出力光波長が、フィルタ手段およびモニタ手段が微小な波長変化を検出できる波長領域にあたるとは限らないが、本発明による光モジュールでは、偏波制御手段の偏波状態を切り替え、第1および第2のモニタ手段により得られる光源の出力光波長に対応した出力を比較することにより、光源の出力光波長が、フィルタ手段およびモニタ手段が微小な波長変化を検出できる波長領域となるように偏波制御手段を切り替え、広い波長範囲にわたって微小な波長変化を検出することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施例について説明する。

【0030】

図1は本発明の基本構成を示したものであり、LDモジュール3は、光源としてLD素子10、LDキャリア11、前方第1レンズ12A、後方レンズ12B、分岐素子としてビームスプリッタ(BS; Beam Splitter)30A、偏波切替素子5、モニタ手段としてフォトダイオード(PD; PhotoDiode)20Aおよび20B、PDキャリア21Aおよび21B、フィルタ31A、マウントキャリア40、電気-熱変換素子(TEC; Thermoelectric Cooler)41、光アイソレータ50、及び前方第2レンズ19を備え、光ファイバ60に接続されている。

【0031】

本発明の基本構成による波長ロック機能を有するLDモジュールによれば、BS30Aを透過したLD素子10の後方出力光を、外部からの制御信号により制御される偏波切替素子5により2つの異なる偏波状態に切り替え、フィルタ31Aの透過特性を偏波状態により異なる特性とすることにより、PD20Aおよび20Bのモニタ結果によりLD素子10の出力波長の変動が検出される。

【0032】

フィルタ31Aの透過特性は偏波状態により切り替わるので、PD20AおよびPD20Bの出力に基づきLD素子10の出力波長に対応する出力を比較し、LD素子10の出力波長の波長変動を検出するのに適したフィルタ31Aの透過特性となるように、偏波切替素子5の偏波状態を切り替えることにより、広い範囲にわたって、出力波長の変動を検出することができる。

【0033】

たとえば、フィルタ31Aとして周期フィルタを用いる場合、例えば特性が波長に対してサインカーブ状に変化するエタロンフィルタを用いる場合、LD素子10の出力波長変動を精度良く検出するためには、周期フィルタのフィルタ特性のピーク部分やボトム部分で

はなく、フィルタ特性の傾斜部分を用いる必要がある。

【0034】

すなわち、周期フィルタの波長特性の傾斜部分では、入力波長の変化に対する透過率の変化が大きいのに対し、周期フィルタのピーク部分やボトム部分では、入力波長の変化に対する透過率の変化が少なく、また、異なる入力波長に対して同じ透過率となるような2つの入力波長の差が小さいので、フィルタの入力光の波長変動を精度良く検出するためには、周期フィルタの波長特性の傾斜部分を用いることが望ましい。

【0035】

WDM通信システムに用いられる光源LDの出力光波長は、WDM通信システムの信号光波長間隔ごとに配置されるので、LD波長ロックに用いられるエタロンを用いる場合、エタロンのFSRは、フィルタの左右どちらか一方の傾斜を使用する場合は信号光波長間隔に、フィルタの左右の傾斜を使用する場合は信号光波長間隔の倍の値が用いられる。これにより、あるWDM信号光の波長から別のWDM信号光の波長へと変化した場合でも、変化前の波長がフィルタの傾斜にあたる場合は、変化後の波長もフィルタの傾斜にあたることとなる。

【0036】

しかしながら、LDモジュールの出力する波長が変化し、例えばあるWDM信号光の波長から別のWDM信号光の波長へと変化した場合や、LDモジュールに電源を投入した初期立ち上げの場合に、LD素子10の出力光波長が周期フィルタの波長特性の傾斜部分にあたるとは限らない。

【0037】

このため、LD素子10の出力光波長を変化させた際に、偏波切替素子5の偏波状態を切り替え、PD20Aおよび20Bのモニタ結果より得られるLD素子10の出力光波長に対応した出力を比較することにより、LD素子10の出力光の波長変動を検出するのに適した偏波状態となるように、偏波切替素子5を切り替えればよい。

【0038】

たとえば、複数の信号光波長に対応する位相をシフトさせた2つの周期フィルタを切り替えて用いる場合、2つの周期フィルタのフィルタ特性が交差する特性値が、周期フィルタの傾斜部分よりピーク部分にかけて、および、傾斜部分よりボトム部分にかけて存在する。この特性値を切替値1および切替値2とすると、一方の偏波状態に対応する周期フィルタのフィルタ特性値が切替値1と切替値2の間の値から外れている場合、もう一方の偏波状態に対応する周期フィルタのフィルタ特性値は切替値1と切替値2の間の値となる。これにより、LD素子10の出力波長はフィルタ特性の傾斜部分となり、LD素子10の出力波長変動を精度良く検出することができる。

【0039】

図2に、本発明の第1実施例による、波長ロック機能を有するLDモジュールを示す。図2(a)に上面図が、図2(b)に側面図が示されるLDモジュール3Aは、LD素子10、LDキャリア11、前方第1レンズ12A、後方レンズ12B、ビームスプリッタ(BS; Beam Splitter)30A、偏波切替素子として液晶5A、フォトダイオード(PD; PhotoDiode)20Aおよび20B、PDキャリア21Aおよび21B、エタロンフィルタ31A、マウントキャリア40、電気-熱変換素子(TEC; Thermoelectric Cooler)41、光アイソレータ50、及び前方第2レンズ19を備え、光ファイバ60に接続されている。

【0040】

図2において、基台40Aに水平な偏波方向のLD出力光を水平偏波光、基台40Aに垂直な偏波方向のLD出力光を垂直偏波光とする。第1実施例においては、LD素子10からの後方出力光は水平偏波光となるように、LD素子10を設置する。また、エタロンフィルタ31Aを、基台40Aに対して垂直方向に θ だけ傾け、水平偏波光の入射角が 0° 、垂直偏波光の入射角が θ となるように設置する。

【0041】

第1実施例による波長ロック機能を有するLDモジュールは、エタロンフィルタ31Aを基台に対して垂直方向にのみ傾け、エタロンフィルタ31Aの水平偏波光に対するフィル

タ特性と、垂直偏波光に対するフィルタ特性を異なるものとし、液晶5AのON・OFFによりエタロンフィルタに入力する光の偏波面を変化させることを特徴とする。

【0042】

図3(1a)～(2b)に、液晶5AがON状態およびOFF状態のときの、第1実施例における液晶5Aと、エタロンフィルタ31Aと、LDの後方出力光の関係を、上面図および側面図で模式的に示す。液晶5Aに入力するLD素子10の後方出力光は水平偏波光であるので、その偏波面は図3(1a)(2a)の上面図に矢印で示される水平方向となる。

【0043】

液晶5Aは、電圧の印加により、液晶5Aを透過した光の偏波面が変化する液晶であり、液晶5Aに入力した水平偏波光の透過光の偏波面は、液晶5AがON状態であるか、OFF状態であるかにより90度変化する。液晶素子としてTN液晶を用いると、液晶5AがONの状態であるとき、図3(1a)(1b)に示されるように、液晶5Aに入力された水平偏波光の偏波面は保持され、水平偏波光として出力される。また、液晶5AがOFFの状態であるとき、図3(2a)(2b)に示されるように、液晶5Aに入力された水平偏波光の偏波面は90°回転し、垂直偏波光として出力される。

【0044】

次に、第1実施例による波長ロック機能を有するLDモジュールの動作について説明する。

【0045】

図2において、LDキャリア11に設置されたLD素子10は、前方(図面右側)および後方(図面左側)に光を出力する。LD素子10の前方出力光は、前方第1レンズ12Aにより平行光となり、光アイソレータ50を透過し、前方第2レンズ19により集光され、光ファイバ60に出力される。光アイソレータ50は、前方第1レンズ12Aより出力された光を透過し、第2レンズ19による反射光を遮断することにより、LD素子10に反射光が戻るのを防止する。

【0046】

一方、後方出力光は、後方レンズ12Bによりコリメートされ、BS30Aに入力する。BS30Aで分岐された後方出力光は、PDキャリア21AにマウントされたPD20Aに入力し、出力光強度がモニタされる。BS30Aを透過した後方出力光は、液晶5Aに入力される。

【0047】

電気-熱変換素子(TEC; Thermoelectric Cooler)41は、LD素子の温度をモニタする素子、例えばサーミスタ抵抗等によるモニタ結果に基づき、LD素子10の温度が一定となるように温度を変化させる。

【0048】

液晶5AがON状態であるとき、図3(1a)(1b)に示されるように、液晶5Aを出力し、エタロンフィルタ31Aに入力する光は水平偏波光であるので、エタロンフィルタ31Aへの入射角は0°となり、入射角0°のときのエタロンフィルタ31Aの特性によりフィルタされ出力される。

【0049】

一方、液晶5AがOFF状態であるとき、図3(2a)(2b)に示されるように、液晶5Aを出力し、エタロンフィルタ31Aに入力する光は垂直偏波光であるので、エタロンフィルタ31Aへの入射角は θ となり、入射角 θ のときのエタロンフィルタ31Aの特性によりフィルタされ出力される。

【0050】

エタロンフィルタ31Aを透過した光は、PDキャリア21BにマウントされたPD20Bに入力する。

【0051】

PD20Bのモニタ量は、LD素子10の出力光強度と、エタロンフィルタ31Aの透過特性が反映された量であるが、PD20Bのモニタ量をPD20Aのモニタ量で割った除算量を

求めることで、LD素子10の出力変動を相殺し、LD素子10の出力光波長に応じたエタロンフィルタ31Aの出力強度が得られ、出力光波長の変動を検出することができる。

【0052】

さらに、外部からの制御信号により液晶のONとOFFを電氣的に切替えることにより、エタロンフィルタ31Aの透過特性が変化するので、2種のエタロンフィルタにより出力光波長の変動を検出することができる。

【0053】

WDM通信において、信号光波長間隔が100GHzであるとき、波長ロック（微調整）のエタロンには、FSRが0.8nmのエタロンが用いられる。前述したように、波長ロックにおいては、LDの出力波長を精度良くロックするために、エタロンフィルタの透過率が大きく変動する、特性の傾斜部分が用いられ、エタロンフィルタ特性のピーク近傍およびボトム近傍を用いることはできない。

【0054】

FSRが等しく、ピーク波長がFSRの1/4シフトした2つのフィルタを用いると、LD出力波長が一方のフィルタがピーク近傍またはボトム近傍にあるとき、LD出力波長はもう一方のフィルタの傾斜部分にあたるので、液晶の切替により用いるフィルタを切り替えることにより、LDの出力波長がロック可能な波長範囲が制限されることがない。第1実施例においては、FSRの1/4ピーク波長シフト、例えば信号光波長間隔が100GHzであるときは0.2nmのピーク波長シフトを、垂直偏波光の入射角 θ を約 1.5° とすることにより得ている。

【0055】

図4は、PD20Bのモニタ量をPD20Aのモニタ量で割った除算量を、液晶ON時と液晶OFF時の双方で波長に対しプロットしたものである。太線は液晶ON時、すなわち、図3（1a）（1b）に示される、エタロンフィルタ31Aに水平偏波光が入力した場合の除算量を、細線は液晶OFF時、すなわち、図3（2a）（2b）に示される、エタロンフィルタ31Aに垂直偏波光が入力した場合の除算量を示したものである。

【0056】

水平偏波光の入射角を 0° 、垂直偏波光の入射角を約 1.5° とし、ピーク波長をFSRの1/4である0.2nmシフトすることにより、液晶ON時の除算量がピーク近傍またはボトム近傍にあるとき、液晶OFF時の除算量が傾斜部分にあたるので、液晶がONまたはOFFのいずれかの状態での除算量によりLDの出力波長変化を細かく検出でき、広い波長範囲でロック可能である。

【0057】

上述のように、第1実施例による波長ロック機能を有するLDモジュールによれば、信号光波長間隔に合わせてエタロンフィルタ31Aの傾斜角を設定することにより、任意の波長においてLD波長の微小変化を検出ことができ、任意の波長において波長ロックを行うことができる。

【0058】

次に、本発明の第2実施例について説明する。

【0059】

図5に、本発明の第2実施例による、波長ロック機能を有するLDモジュールを示す。図5（a）に上面図が、図5（b）に側面図が示されるLDモジュール3Bは、LD素子10、LDキャリア11、前方第1レンズ12A、後方レンズ12B、BS30A、偏波切替素子として液晶5A、PD20Aおよび20B、PDキャリア21Aおよび21B、エタロンフィルタ31B、マウントキャリア40、TEC41、光アイソレータ50、及び前方第2レンズ19を備え、光ファイバ60に接続されている。

【0060】

第1実施例と同様に、図5において、基台40Aに水平な偏波方向のLD出力光を水平偏波光、基台40Aに垂直な偏波方向のLD出力光を垂直偏波光とする。第2実施例においても、LD素子10からの後方出力光は水平偏波光となるように、LD素子10を設置する。

【0061】

エタロンフィルタ 31B は、複屈折結晶により構成されたフィルタである。エタロンフィルタのフィルタ特性は、媒体の屈折率 n と、平行板または平行膜の間隔 L により変化するので、水平偏波光と垂直偏波光に対する媒体の屈折率が異なるように、光軸を設計することにより、水平偏波光に対するフィルタ特性と、垂直偏波光に対するフィルタ特性が異なるエタロンフィルタが得られる。第2実施例においては、水平偏波光に対するフィルタ媒体の複屈折率が n_o 、垂直偏波光に対するフィルタ媒体の複屈折率が n_e となるようにエタロンフィルタを設計する。

【0062】

第2実施例による波長ロック機能を有するLDモジュールは、エタロンフィルタ 31B の媒体として複屈折結晶を用い、エタロンフィルタ 31B の水平偏波光に対する屈折率と、垂直偏波光に対する屈折率が異なる屈折率となるように媒体の光軸を選択することにより、液晶 5A のON・OFFによりエタロンフィルタに入力する光の偏波面を変化させることを特徴とする。

【0063】

図6(1a)～(2b)に、液晶 5A がON状態およびOFF状態のときの、第2実施例における液晶 5A と、エタロンフィルタ 31B と、LDの後方出力光の関係を、上面図および側面図で模式的に示す。液晶 5A に入力するLD素子 10 の後方出力光は水平偏波光であるので、その偏波面は図6(1a)(2a)の上面図に矢印で示される水平方向となる。

【0064】

第1実施例と同様に、液晶 5A は、電圧の印加により、液晶 5A を透過した光の偏波面が変化する液晶であり、液晶 5A に入力した水平偏波光の透過光の偏波面は、液晶 5A がON状態であるか、OFF状態であるかにより90度変化する。液晶素子としてTN液晶を用いると、液晶 5A がONの状態であるとき、図6(1a)(1b)に示されるように、液晶 5A に入力された水平偏波光の偏波面は保持され、水平偏波光として出力される。また、液晶 5A がOFFの状態であるとき、図6(2a)(2b)に示されるように、液晶 5A に入力された水平偏波光の偏波面は90°回転し、垂直偏波光として出力される。

【0065】

次に、第2実施例による波長ロック機能を有するLDモジュールの動作について説明する。

【0066】

図5において、LDキャリア 11 に設置されたLD素子 10 は、前方(図面右側)および後方(図面左側)に光を出力する。LD素子 10 の前方出力光は、前方第1レンズ 12A により平行光となり、光アイソレータ 50 を透過し、前方第2レンズ 19 により集光され、光ファイバ 60 に出力される。光アイソレータ 50 は、前方第1レンズ 12A より出力された光を透過し、第2レンズ 19 による反射光を遮断することにより、LD素子 10 に反射光が戻るのを防止する。

【0067】

一方、後方出力光は、後方レンズ 12B によりコリメートされ、BS 30A に入力する。BS 30A で分岐された後方出力光は、PDキャリア 21A にマウントされたPD 20A に入力し、出力光強度がモニタされる。BS 30A を透過した後方出力光は、液晶 5A に入力される。

【0068】

液晶 5A がON状態であるとき、図6(1a)(1b)に示されるように、液晶 5A を出力し、エタロンフィルタ 31B に入力する光は水平偏波光であるので、屈折率 n_o のエタロンフィルタ 31B の特性によりフィルタされ出力される。

【0069】

一方、液晶 5A がOFF状態であるとき、図6(2a)(2b)に示されるように、液晶 5A を出力し、エタロンフィルタ 31B に入力する光は垂直偏波光であるので、屈折率 n_o のエタロンフィルタ 31B の特性によりフィルタされ出力される。

【0070】

エタロンフィルタ 31A を透過した光は、PD キャリア 21B にマウントされた PD 20B に入力する。

【0071】

PD 20B のモニタ量は、LD 素子 10 の出力光強度と、エタロンフィルタ 31A の透過特性が反映された量であるが、PD 20B のモニタ量を PD 20A のモニタ量で割った除算量を求めることで、LD 素子 10 の出力変動を相殺し、LD 素子 10 の出力光波長に応じたエタロンフィルタ 31A の出力強度が得られ、出力光波長を求めることができる。

【0072】

さらに、外部からの制御信号により液晶の ON と OFF を電氣的に切替えることにより、エタロンフィルタ 31B の透過特性が変化するので、2 種のエタロンフィルタにより出力光波長を求めることができる。

【0073】

WDM 通信において、信号光波長間隔が 100GHz であるとき、波長ロック（微調整）のエタロンには、FSR が 0.8nm のエタロンが用いられる。前述したように、波長ロックにおいては、LD の出力波長を精度良くロックするために、エタロンフィルタの透過率が大きく変動する、特性の傾斜部分が用いられ、エタロンフィルタ特性のピーク近傍およびボトム近傍を用いることはできない。

【0074】

FSR が等しく、ピーク波長が FSR の 1/4 シフトした 2 つのフィルタを用いると、LD 出力波長が一方のフィルタがピーク近傍またはボトム近傍にあるとき、LD 出力波長はもう一方のフィルタの傾斜部分にあたるので、LD の出力波長がロック可能な波長範囲が制限されることがない。第 2 実施例においては、FSR の 1/4 ピーク波長シフト、例えば信号光波長間隔が 100GHz であるときは 0.2nm のピーク波長シフトを、エタロンフィルタ 31B の媒体を複屈折結晶とすることにより得る。

【0075】

前述したように、(1) 式において、エタロンフィルタの FSR は、媒体の屈折率 n 、平行平板又は平行膜の間隔 L により、

$$FSR = c / 2 * n * L$$

と表され、媒体の屈折率 n により変化する。媒体の複屈折率（屈折率差）が大きくなるに従い、水平偏波光と垂直偏波光の FSR 差は大きくなり、ピーク波長が FSR の 1/4 シフトした 2 つのフィルタのいずれかを用いて、フィルタの傾斜部分により波長変動を検出することができる波長範囲が制限される。したがって、第 2 実施例に用いるエタロンフィルタ 31B の複屈折媒体としては、複屈折率がピーク波長シフトを生じさせるには十分大きく、FSR 差により微調整可能な波長範囲の制限が問題にならない程度に小さい複屈折結晶を選択する必要がある。

【0076】

エタロンフィルタ 31B の複屈折結晶として水晶を用い、PD 20B のモニタ量を PD 20A のモニタ量で割った除算量を、液晶 ON 時と液晶 OFF 時の双方で波長に対しプロットしたものを図 7 に示す。太線は液晶 ON 時、すなわち、図 6 (1a) (1b) に示される、エタロンフィルタ 31B に水平偏波光が入力した場合の除算量を、細線は液晶 OFF 時、すなわち、図 6 (2a) (2b) に示される、エタロンフィルタ 31B に垂直偏波光が入力した場合の除算量を示したものである。

【0077】

水晶は常光屈折率 $n_o = 1.5272$ 、異常光屈折率 $n_e = 1.5357$ の特性を持つ複屈折結晶であり、エタロンフィルタ 31B の入力光に対する屈折率が、水平偏波光に対して n_o 、垂直偏波光に対して n_e となるように、媒体の複屈折結晶である水晶の光軸を設計することにより、図 7 に示されるようにピーク波長をシフトした 2 つのフィルタ特性が得られる。水晶の常光屈折率と異常光屈折率の差は、常光屈折率の 0.6% 程度であるので、水平偏波光と垂直偏波光の FSR 差は、微調可能な LD の波長範囲を制限する量とはならない。

【0078】

図7のグラフにおいて、液晶ON時の除算量がピーク近傍またはボトム近傍にあるとき、液晶OFF時の除算量が傾斜部分にあたるので、液晶がONまたはOFFのいずれかの状態での除算量によりLDの出力波長変化を細かく検出でき、広い波長範囲でロック可能である。

【0079】

上述のように、第2実施例による波長ロック機能を有するLDモジュールによれば、信号光波長間隔に合わせてエタロンフィルタ31Bの複屈折結晶の材質を選択し、光軸を調整することにより、任意の波長においてLD波長の微小変化を検出することができ、任意の波長において波長ロックを行うことができる。

【0080】

上記第1実施例および第2実施例においては、液晶のON・OFFにより切替えられるエタロンフィルタのフィルタ特性を、ピーク波長がFSRの1/4シフトした2つのフィルタとし、一方のフィルタがピーク近傍またはボトム近傍にあるとき、LD出力波長はもう一方のフィルタの傾斜部分にあたることとした。これにより、広い波長範囲で微小な波長変化を検出することが可能であるが、本発明による波長ロック機能を有するLDモジュールによる、液晶のON・OFFにより切替えられるエタロンフィルタのフィルタ特性は、上記のFSRが1/4シフトした特性に限られるものではない。

【0081】

たとえば、FSRのシフト量を1/4よりずらすことにより、液晶のON・OFFを切替えたときのレベル差は、入力波長により異なる値をとるから、これを利用して、入力波長を検出することができる。

【0082】

また、複屈折結晶を利用したエタロンフィルタを、液晶のON・OFFによりフィルタ特性を切替える場合についても、FSRを2つのフィルタで大きく異なる値となる複屈折結晶を選択することにより、液晶のON・OFFを切替えたときのレベル差は、入力波長により異なる値をとるから、これを利用して、入力波長を検出することができる。

【0083】

また、上記実施例においては、LD素子10の後方出力光により波長変動を検出したが、前方出力光を分岐し、強度モニタとエタロンフィルタ透過光モニタを行うことにより、波長変動を検出してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0084】

【図1】 本発明の基本構成を示す図

【図2】 第1実施例による、波長ロック機能を有するLDモジュールを示す図

【図3】 第1実施例における、液晶ON・OFFとエタロンフィルタ透過光の関係を示す図

【図4】 第1実施例における、液晶ON・OFFと波長検出部出力の関係を示す図

【図5】 第2実施例による、波長ロック機能を有するLDモジュールを示す図

【図6】 第2実施例における、液晶ON・OFFとエタロンフィルタ透過光の関係を示す図

【図7】 第2実施例における、液晶ON・OFFと波長検出部出力の関係を示す図

【図8】 従来技術による、波長ロック機能を有するLDモジュールを示す図

【図9】 エタロンフィルタの、入力光波長に対する透過特性を示す図

【図10】 入射角度による、フィルタ特性ピーク波長のシフト量を示す図

【図11】 従来技術による、複数のエタロンフィルタを用いた、波長ロック機能を有するLDモジュールを示す図

【符号の説明】

【0085】

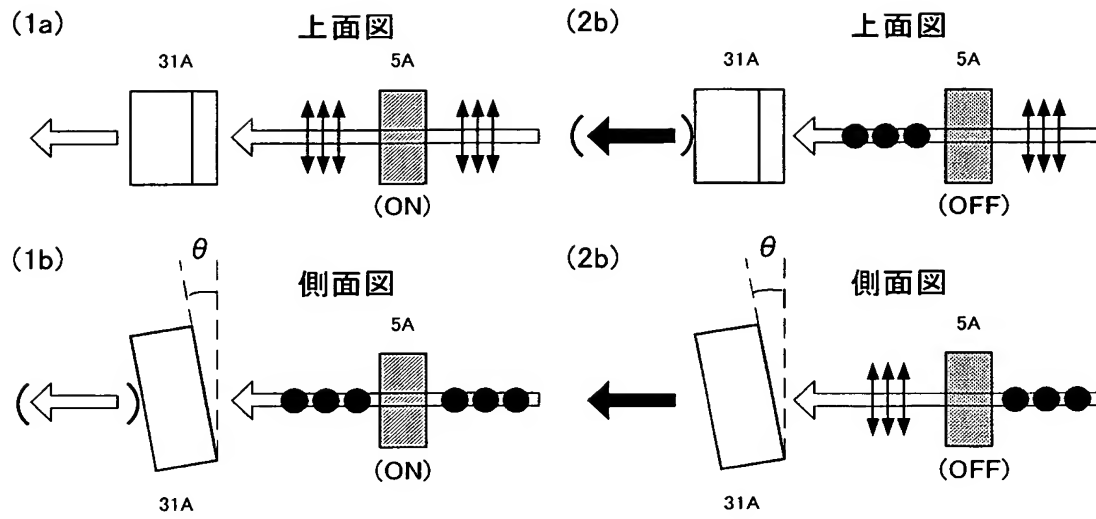
3 レーザダイオード(LD)モジュール

10A LD素子

11A LDキャリア

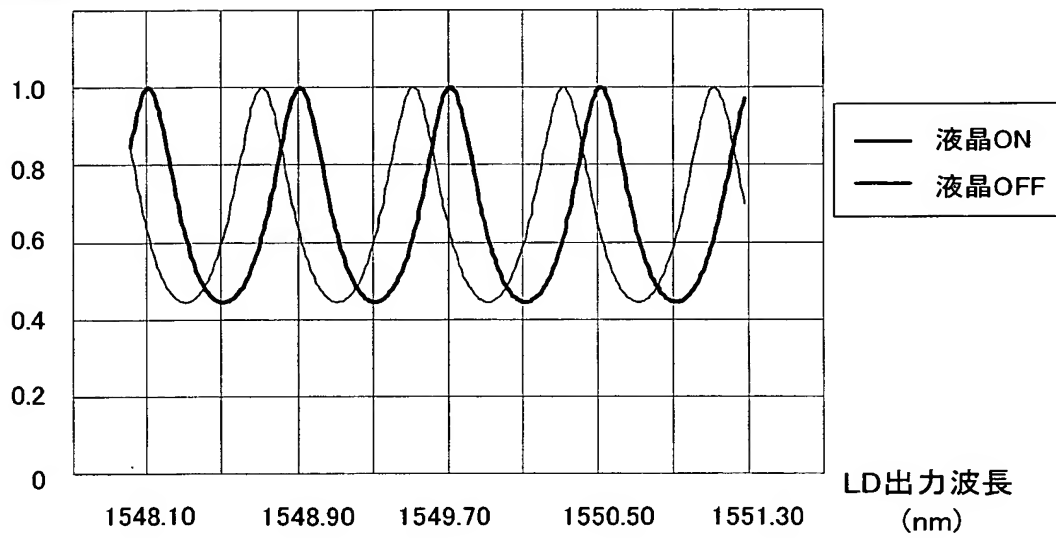
1 2 A 前方第 1 レンズ
1 2 B 後方レンズ
1 9 前方第 2 レンズ
2 0 A ~ 2 0 C フォトダイオード (PD)
2 1 A ~ 2 1 C PDキャリア
3 0 A ビームスプリッタ (BS)
3 1 A ~ 3 1 B エタロンフィルタ
4 0 A マウントキャリア
4 1 電気-熱変換素子 (TEC)
5 0 A 光アイソレータ
6 0 光ファイバ

【図 3】

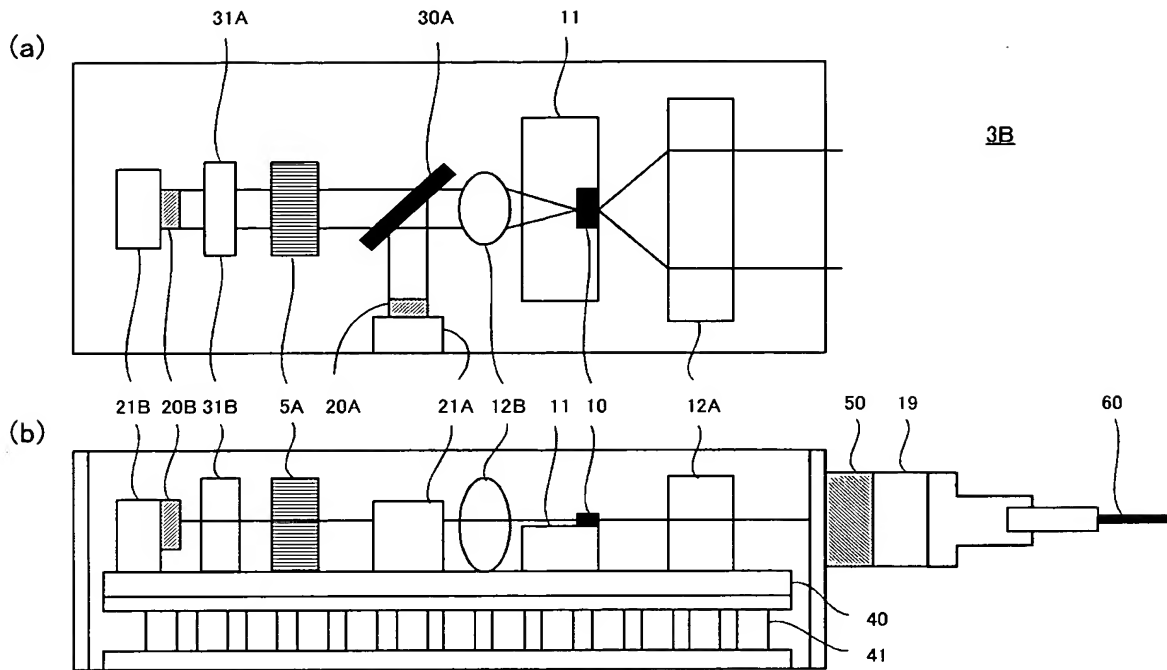


【図 4】

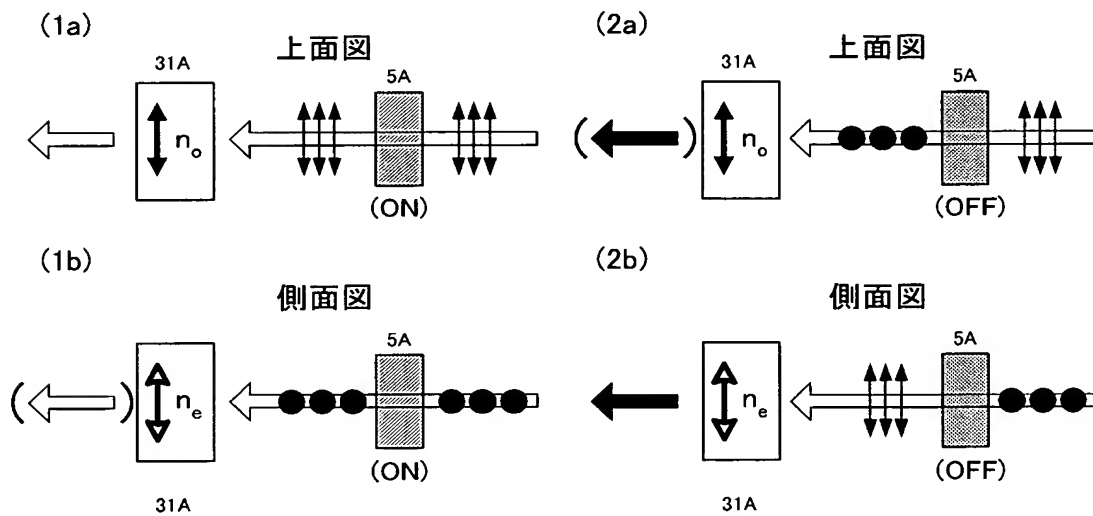
除算量



【図 5】

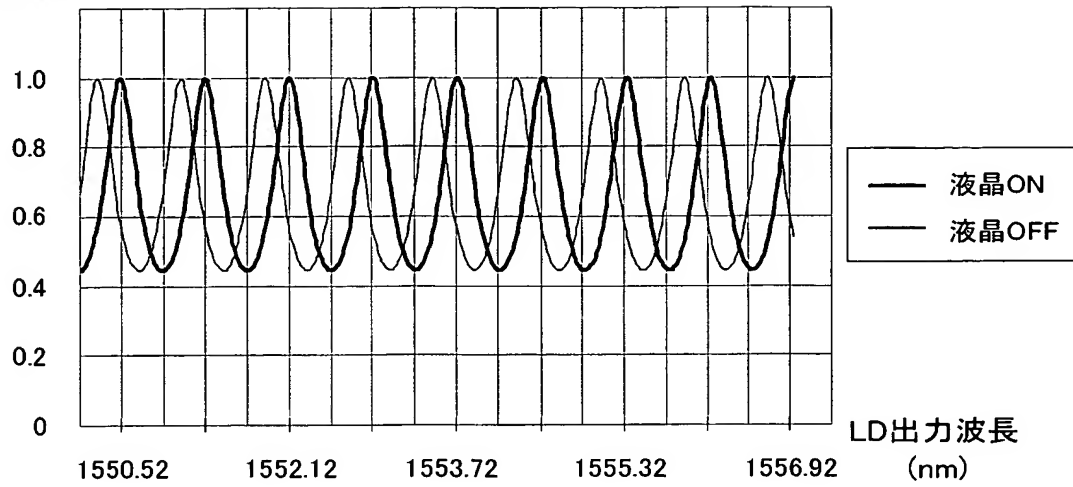


【図 6】

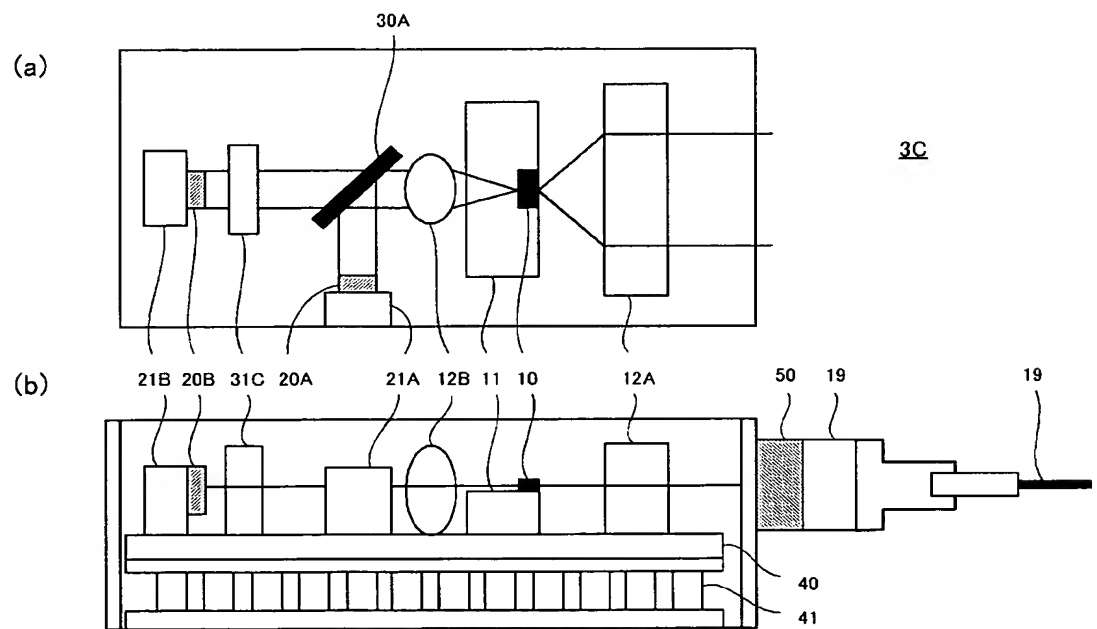


【図 7】

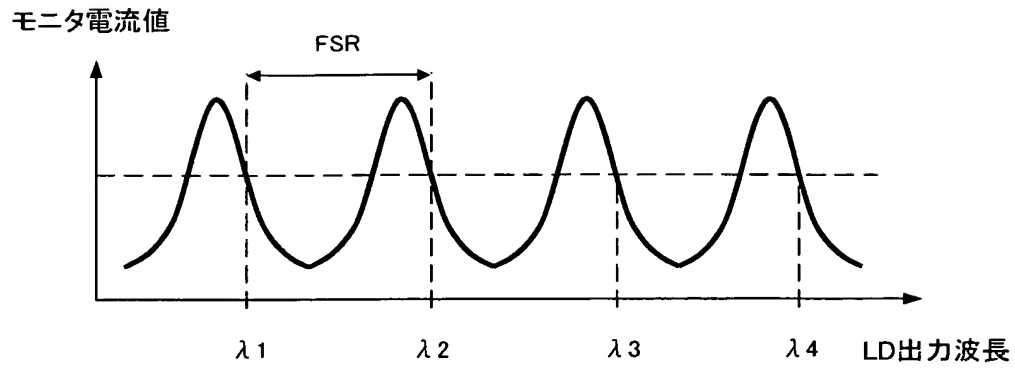
除算量



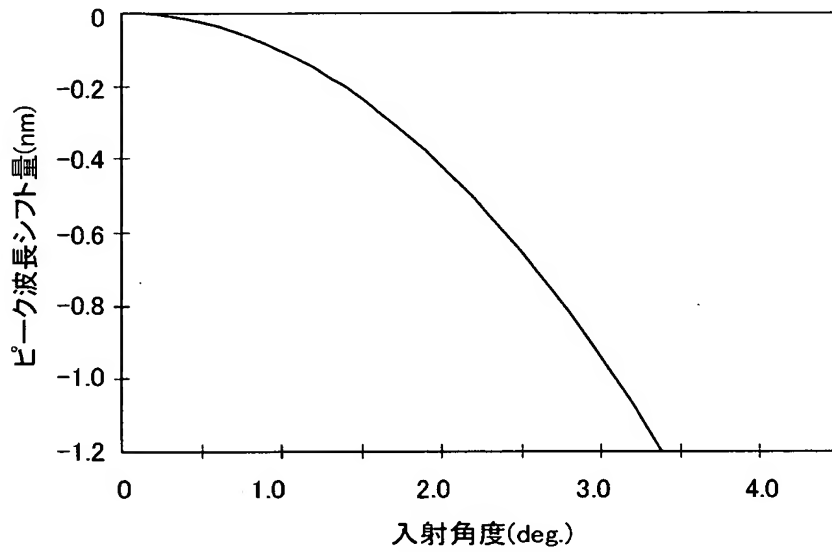
【図 8】



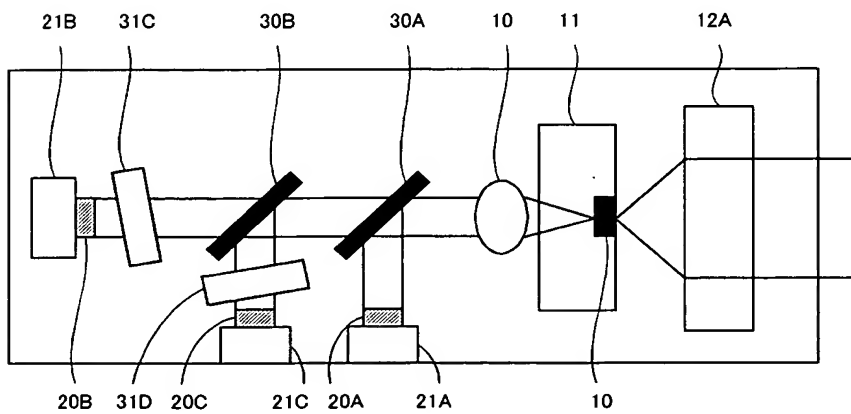
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 波長ロッカ内蔵LDモジュールでは、LD出力波長の微小変化を検出するためにエタロンフィルタが通常用いられるが、エタロンフィルタの特性は周期的であるので、広い波長範囲においてLD出力波長の微小変化を検出するためには、複数のエタロンフィルタが必要となり、調整工数が増大する。

【解決手段】 LD素子（10）の出力光を、偏波切替素子（5）により2つの異なる偏波状態に切替え、フィルタ（31A）の透過特性を偏波状態により異なる特性とすることにより、広い波長範囲でLD素子（10）の出力波長の変動が検出される。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 3 1 4 6 9 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社